

Endotherme Reformierung:

thermo-chemische Rekuperation zur Erhöhung des Wirkungsgrades von Verbrennungsmotoren

Jiafei Zhang, Saiman Ding, Ralph-Uwe Dietrich

Institut für Technische Thermodynamik

Thermische Prozesstechnik

Alternative Brennstoffe

Stuttgart, 25.01.2017



Wissen für Morgen



Agenda

Einleitung: Konzeptvergleich

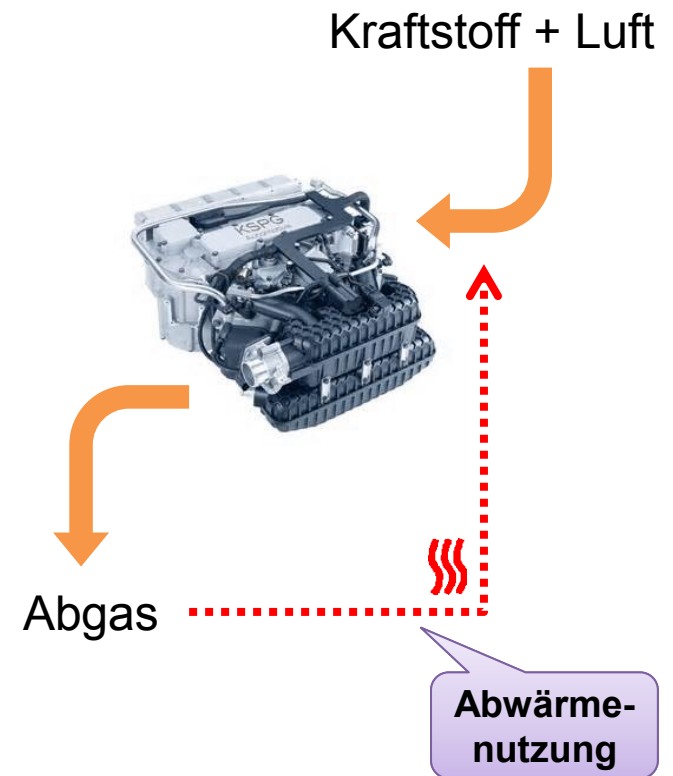
- Konventioneller Motor
- Modifizierter Prozess
(Abwärmenutzung mittels endothermer Reformierung)

Simulation endothermer Reformierung

Fallstudie: MGT-Prozess

- Strategien zur Wirkungsgradsteigerung
- Fließbildsimulation in Aspen Plus
- Wärme- und Prozessintegration
- Energieanalyse

Zusammenfassung und Ausblick



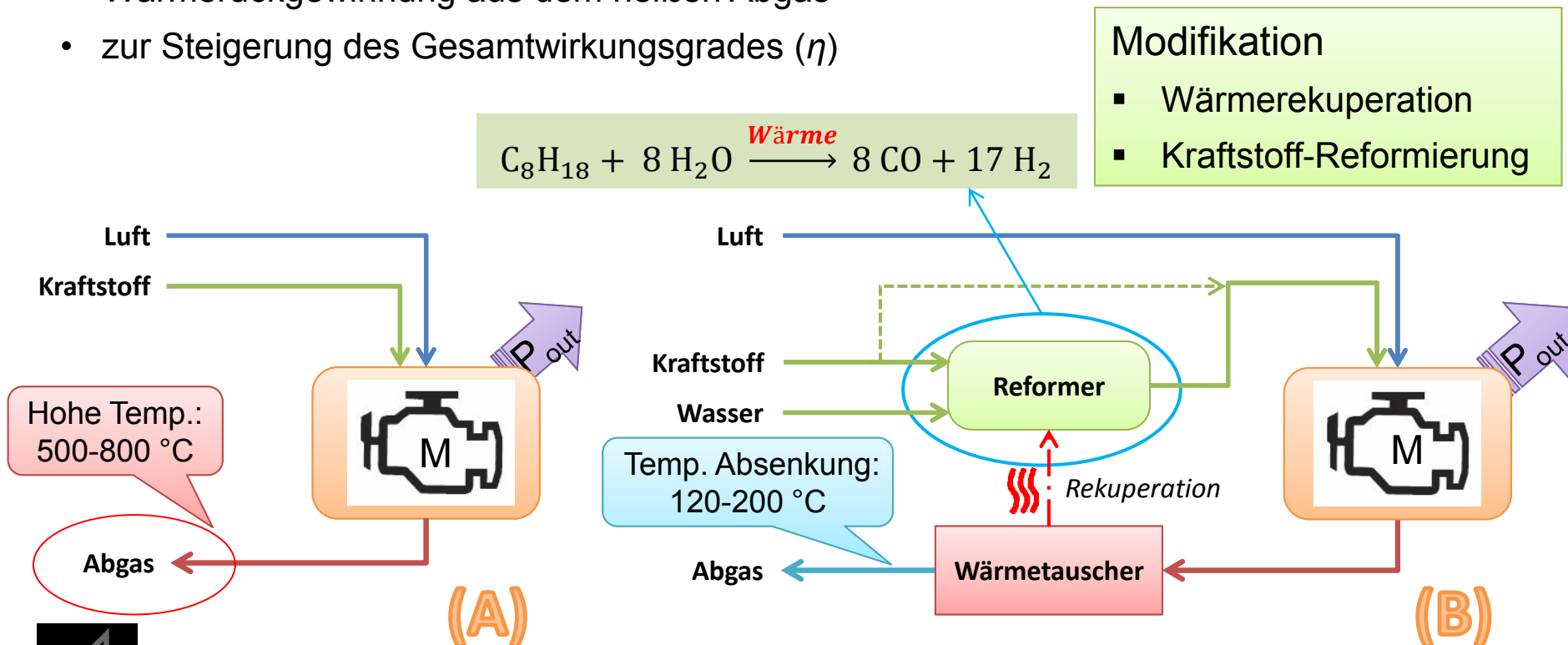
Einleitung: Prozessidee

(A) Konventioneller Verbrennungsmotor

- Heißes Abgas → hoher Wärmeverlust! → Wiedernutzung der Abwärme?

(B) Modifizierter Prozess mit thermo-chemischer Rekuperation

- Wärmerückgewinnung aus dem heißen Abgas
- zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrades (η)



Vergleich des Energieflusses

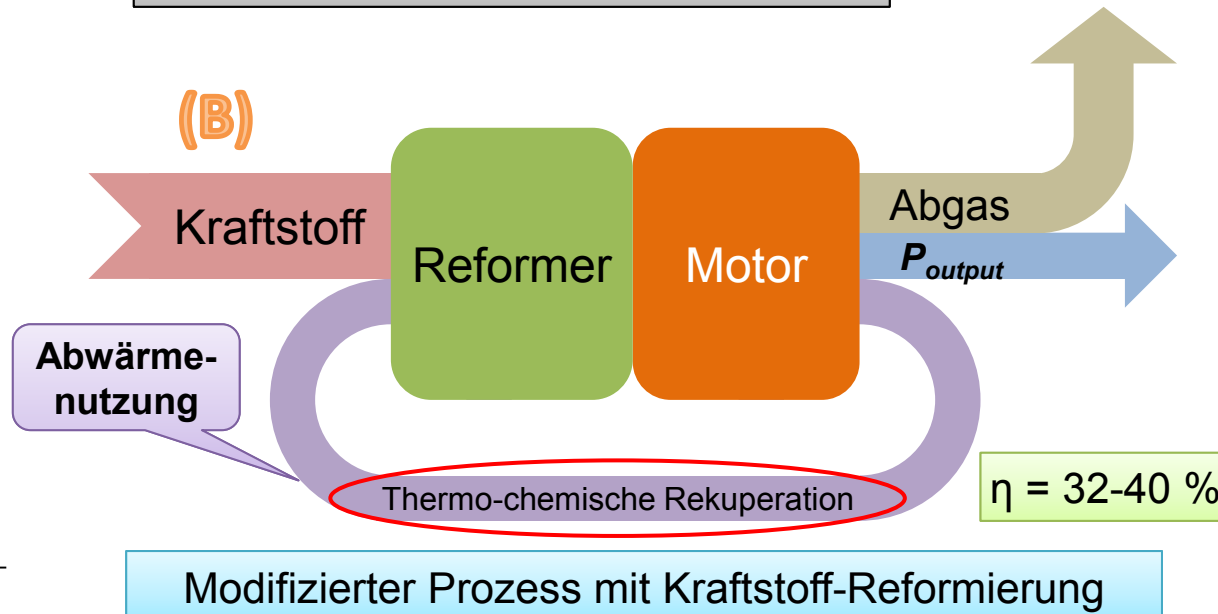
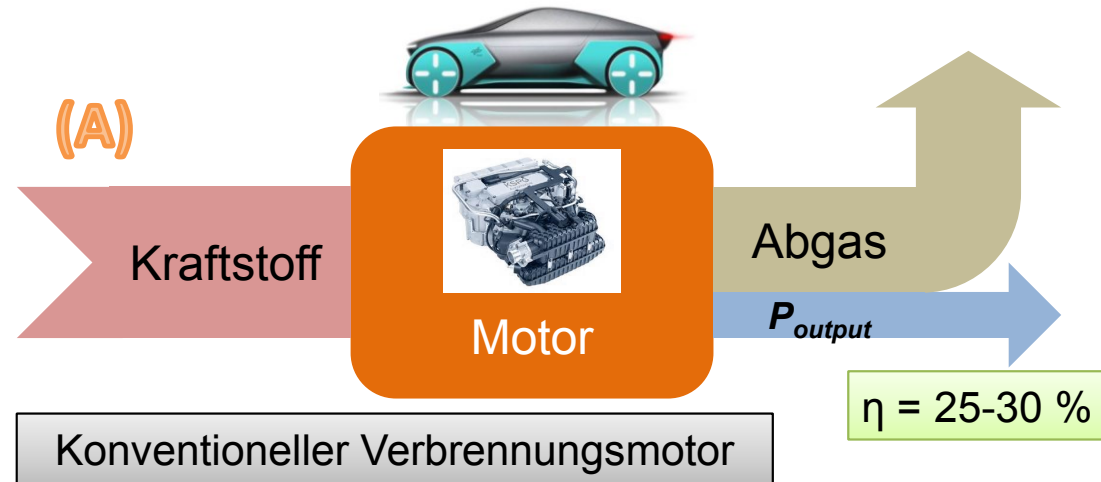
Vorteile

- ✓ Wirkungsgradsteigerung
- ✓ Kraftstoffeinsparung
- ✓ Bessere Verbrennung [1]
- ✓ Geringere Emissionen (CO, NO_x, usw.) [2]

Nachteile

- Zusätzliche Geräte: Reformer, Wassertank, Wärmetauscher, usw.
- Anpassung der Motorsteuerung erforderlich

$$\eta = \frac{P_{output}}{\dot{m}_{fuel} * LHV_{fuel}}$$

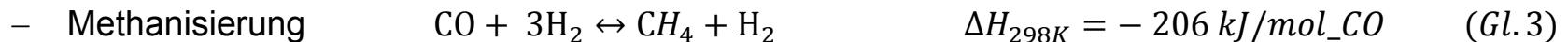
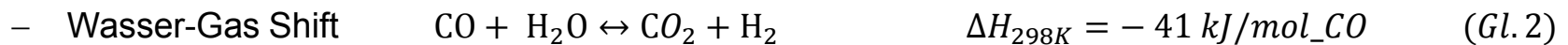
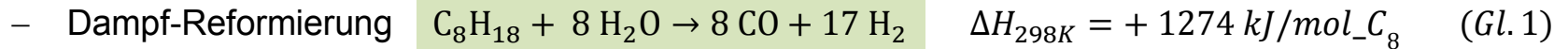


Endotherme Reformierung

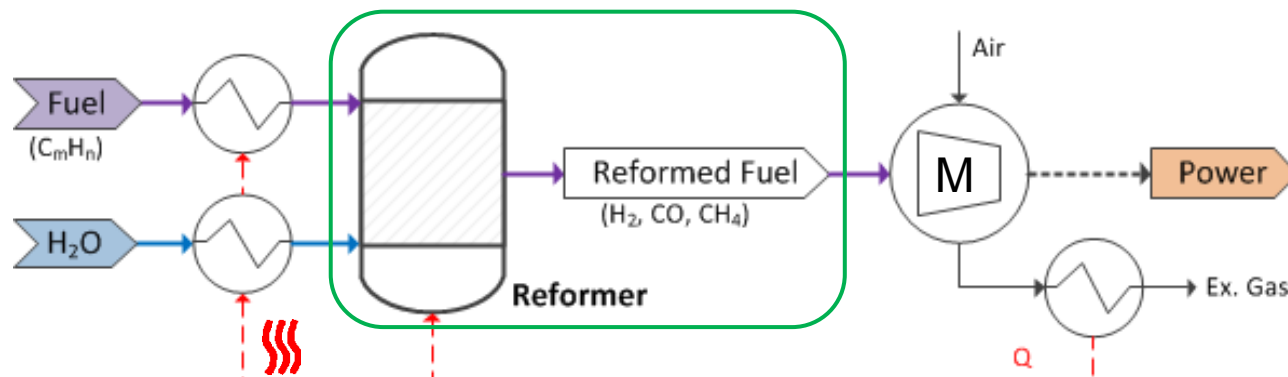
Annahmen

- *iso*-Octan (C_8H_{18}) als die Hauptkomponente des Benzins
- Reaktionsgleichgewicht

Hauptreaktion



- Modellierung: chemische Reaktionen durch Gibbs-Energie-Minimierung in Aspen Plus
- Idealer Katalysator: 100 % Umsatz und keine Koksbildung um $T \geq 600 \text{ }^\circ\text{C}$ und $S/C \geq 2$ [3]



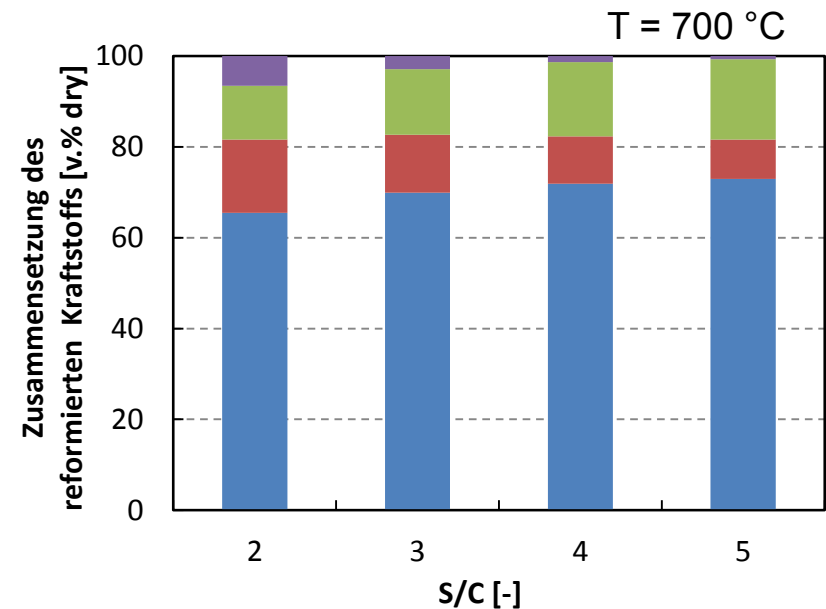
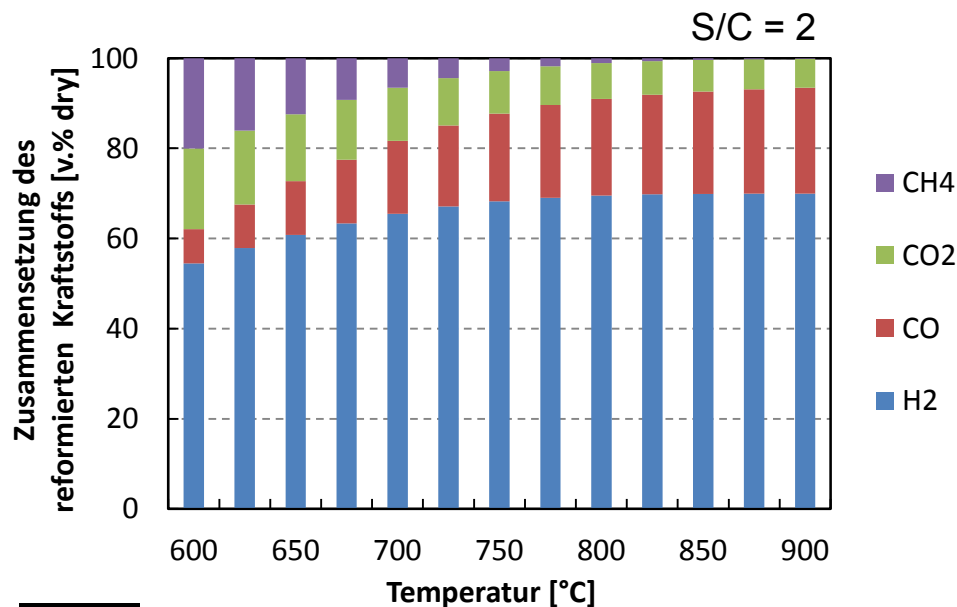
Endotherme Reformierung

Reaktionsbedingungen

- Temperatur (T)
- Druck (p)
- Steam/Carbon
Molverhältnis (S/C)

Simulationsergebnisse

$T \uparrow$, $S/C \uparrow$ und $p \downarrow$
 $\rightarrow y_{H_2} \uparrow$



Fallstudie: Mikrogasturbinenprozess (MGT)

Übersicht

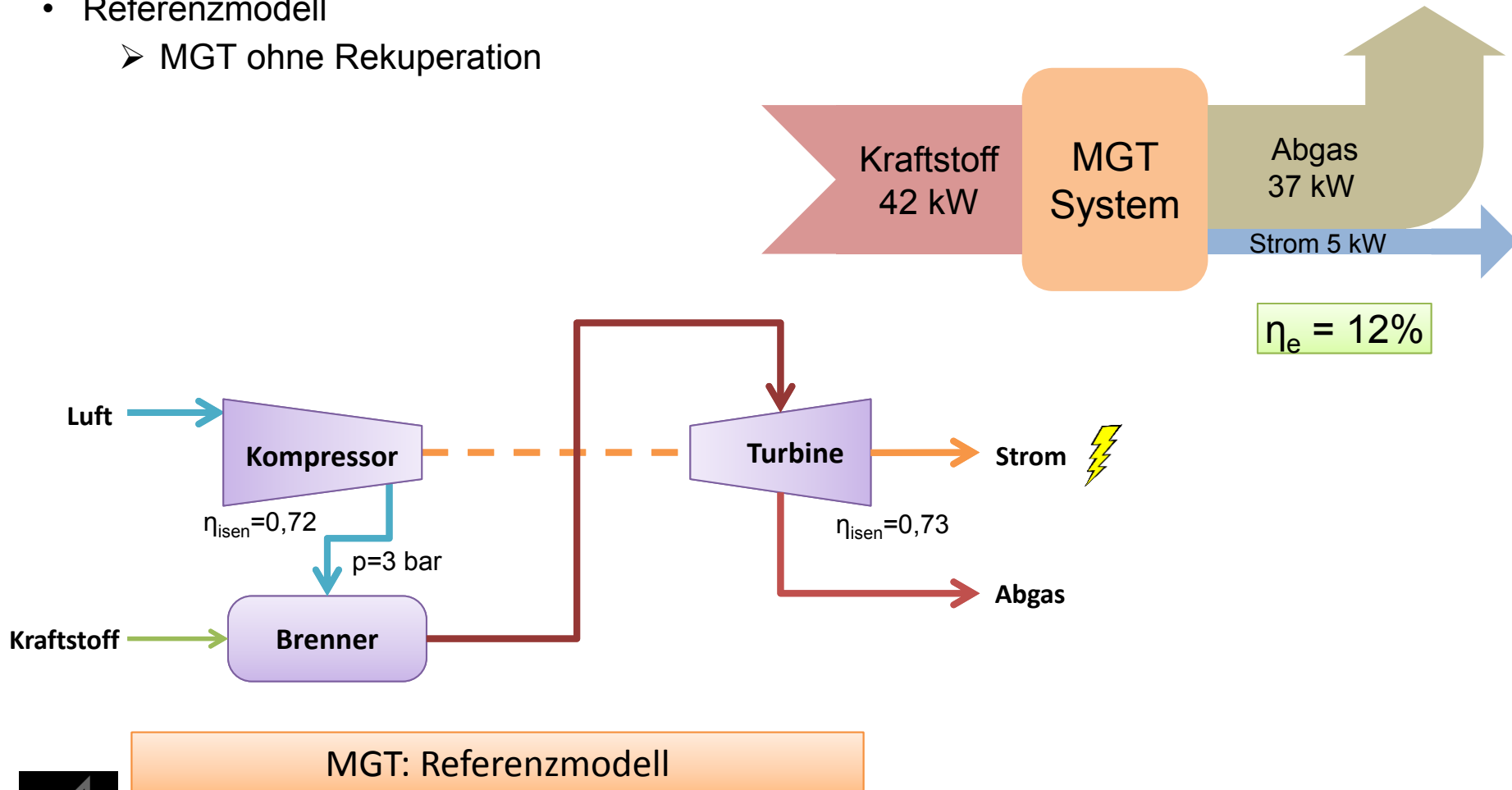
- Zusammenarbeit mit DLR-Institut für Verbrennungstechnik (VT)
- Ziel: Nachweis der Wirkungsgradsteigerung anhand einer realistischen MGT
- Fließbildsimulation in Aspen Plus
 - ideales Modell (ohne Wärmeverluste)
 - Referenzmodell: MGT ohne Rekuperation
 - Base-Case 1: MGT + thermische Rekuperation (Luft-Vorwärmung)
 - Base-Case 2: MGT + thermische Rekuperation (Luft/Wasser-Vorwärmung)
 - Neues System: MGT + thermo-chemische Rekuperation (Kraftstoff-Reformierung)
 - realistisches Modell (mit Druck- und Wärmeverlusten)
 - Base-Case 1 und Neues System



Strategien zur Wirkungsgradsteigerung

Fließbildsimulation und Black-Box Energieanalyse (5 kW_e)

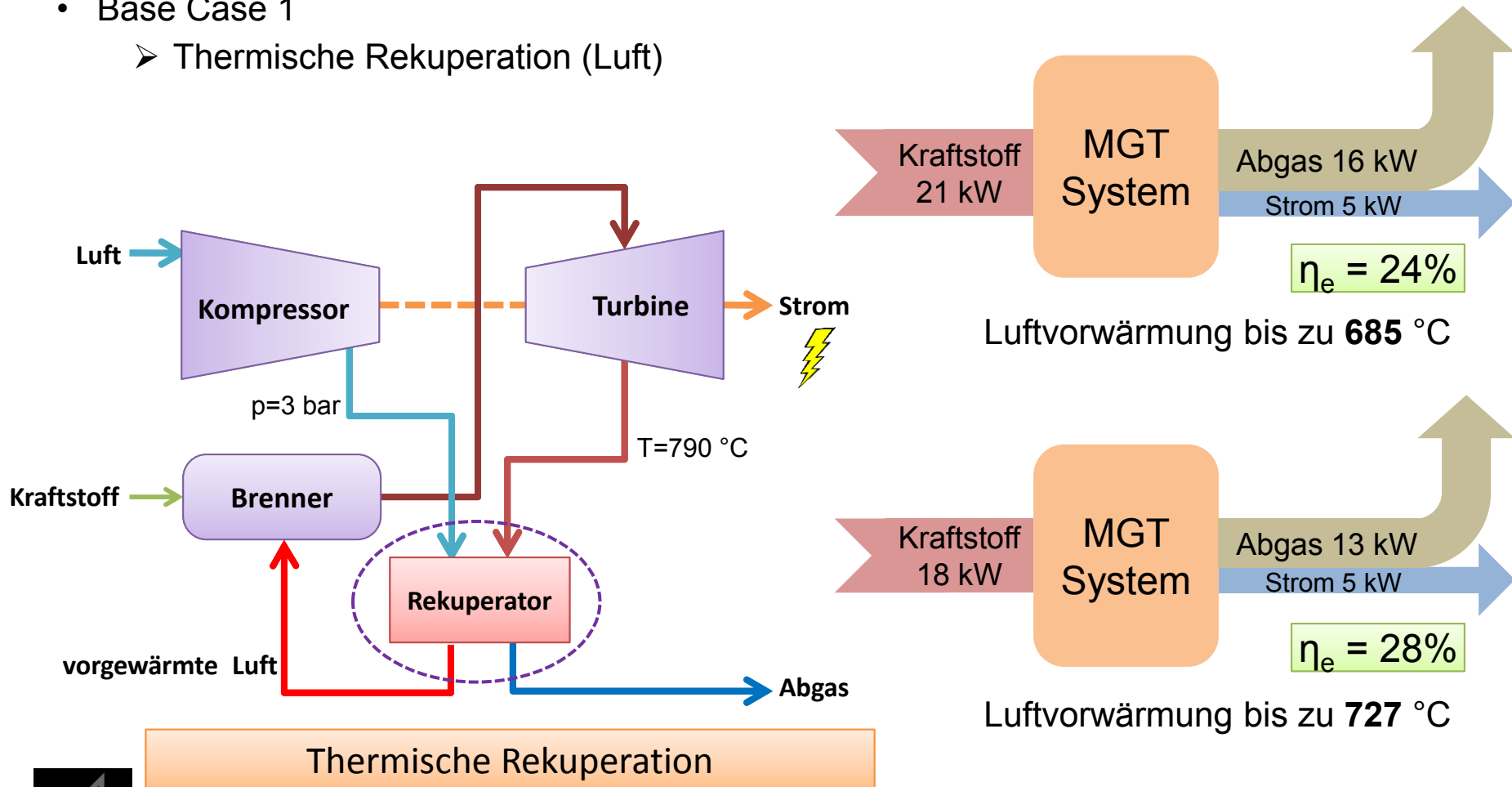
- Referenzmodell
 - MGT ohne Rekuperation



Strategien zur Wirkungsgradsteigerung

Fließbildsimulation und Black-Box Energieanalyse (5 kW_e)

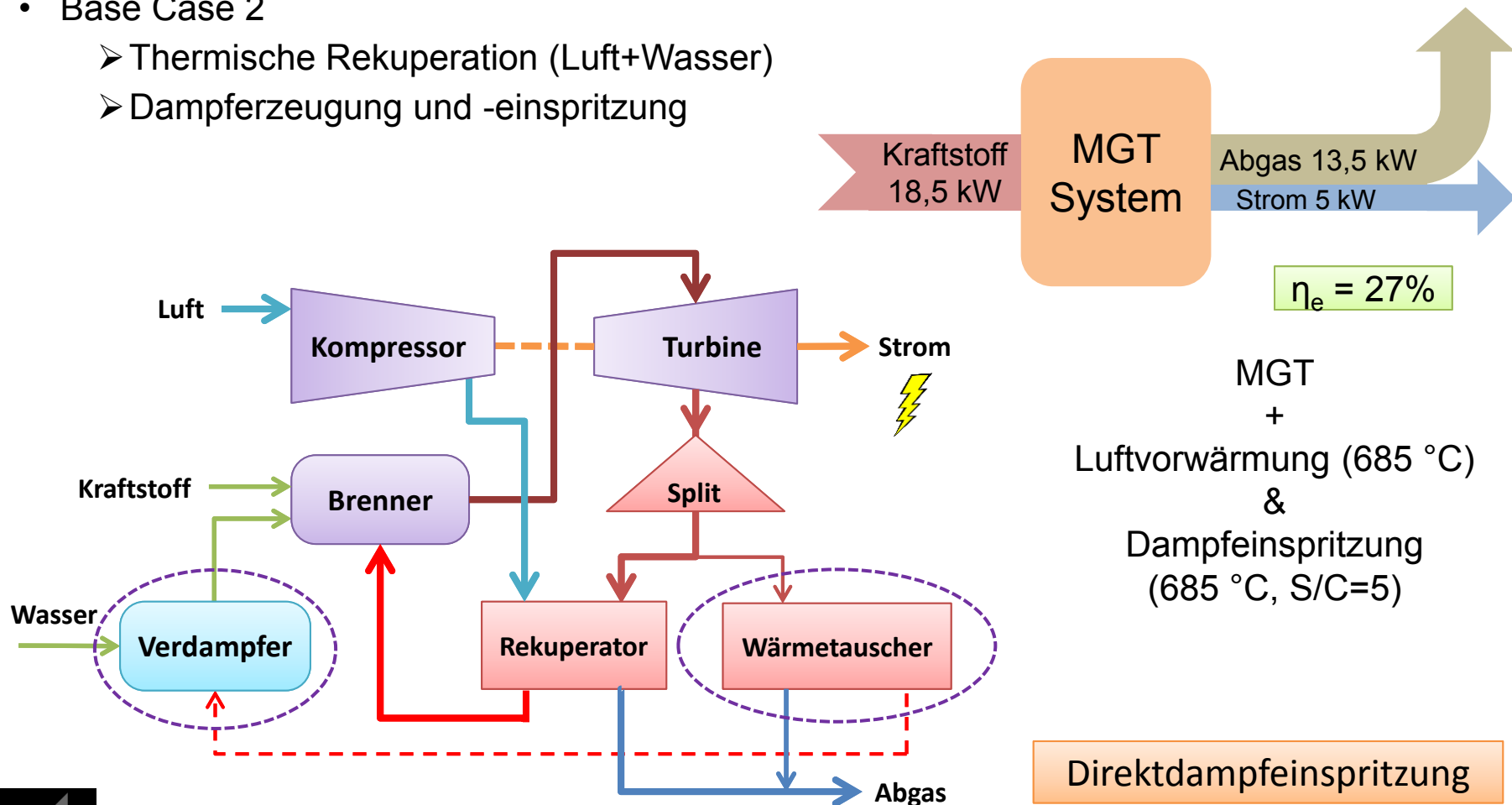
- Base Case 1
 - Thermische Rekuperation (Luft)



Strategien zur Wirkungsgradsteigerung

Fließbildsimulation und Black-Box Energieanalyse (5 kW_e)

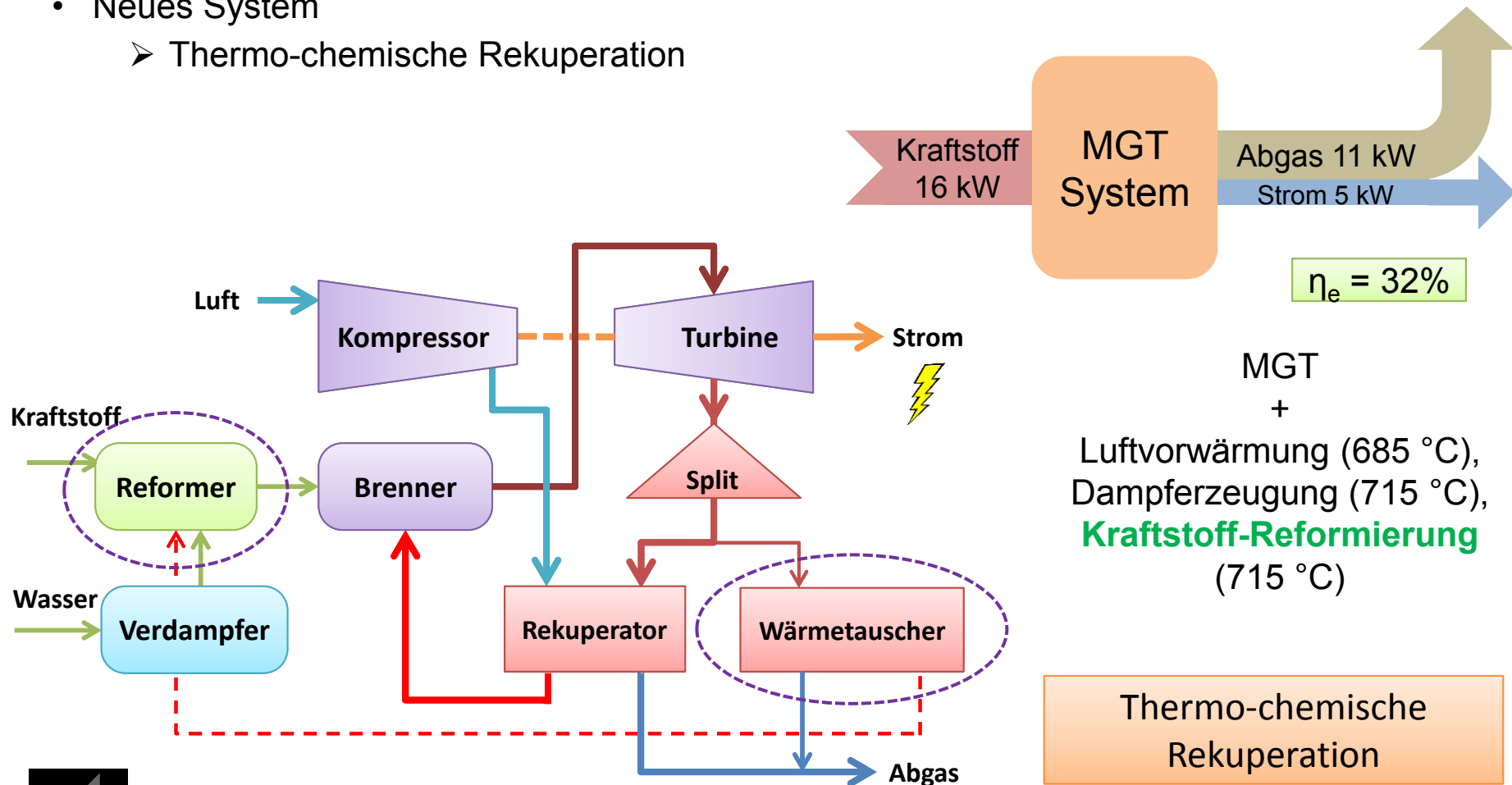
- Base Case 2
 - Thermische Rekuperation (Luft+Wasser)
 - Dampferzeugung und -einspritzung



Strategien zur Wirkungsgradsteigerung

Fließbildsimulation und Black-Box Energieanalyse (5 kW_e)

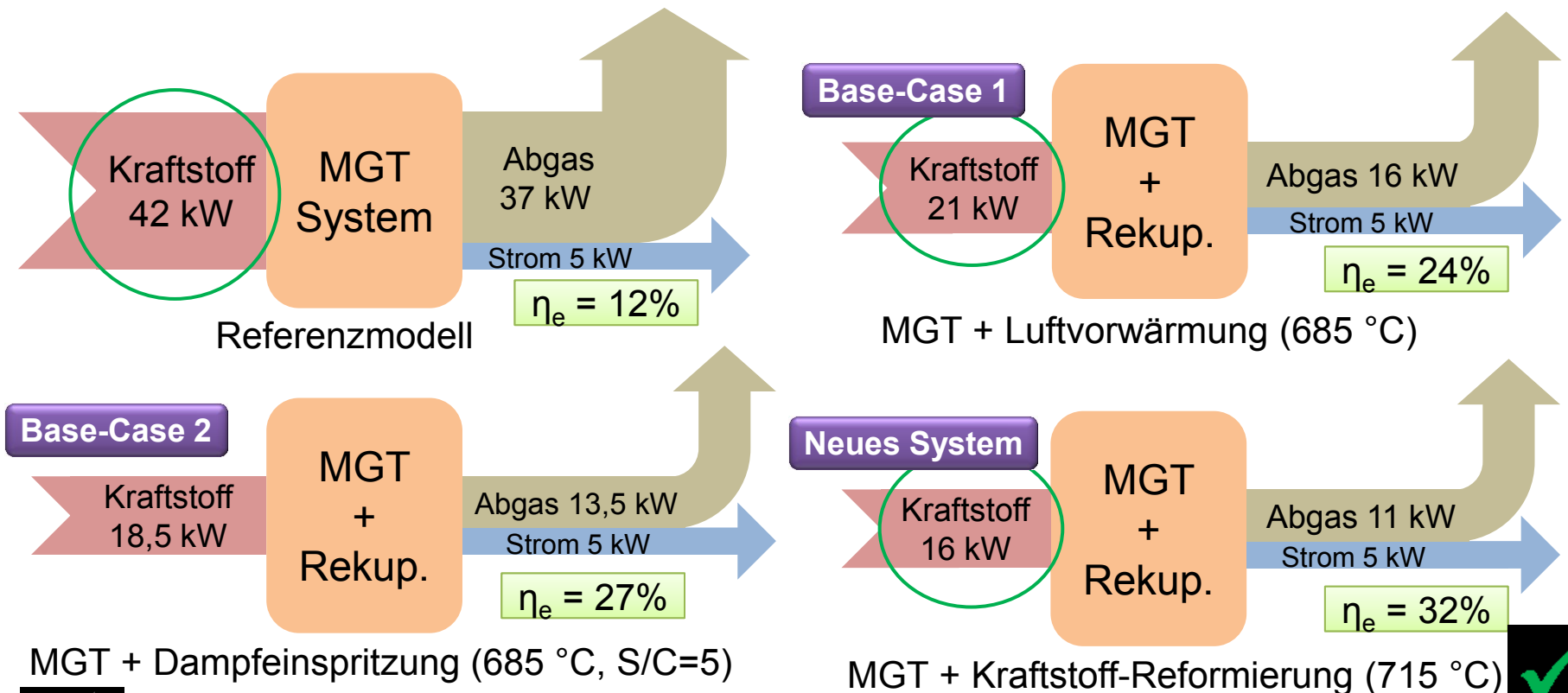
- Neues System
 - Thermo-chemische Rekuperation



Strategien zur Wirkungsgradsteigerung

Überblick: Black-Box Energieanalyse einer 5-kW_e-MGT

- Vergleich verschiedener Konzepte zur Abgaswärmenutzung
- ✓ Beste Leistung: thermo-chemische Rekuperation (mit Kraftstoff-Reformierung)

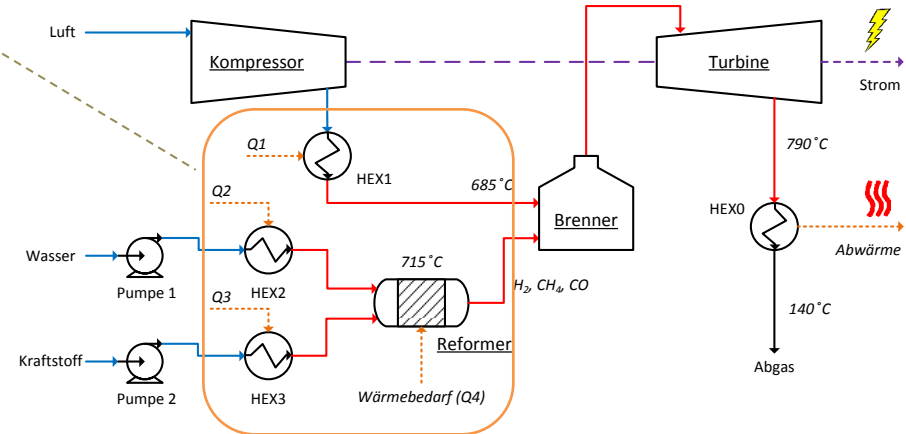
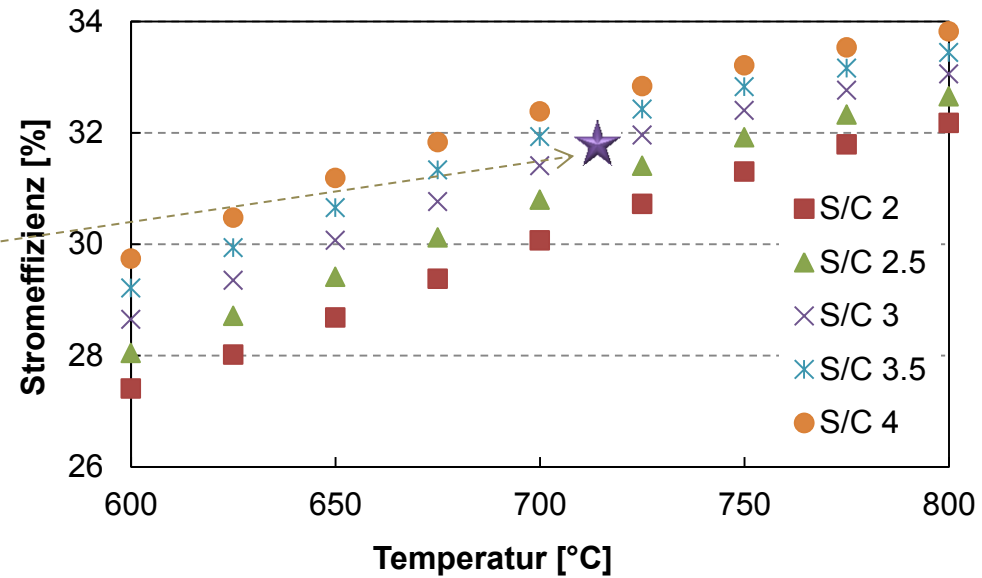
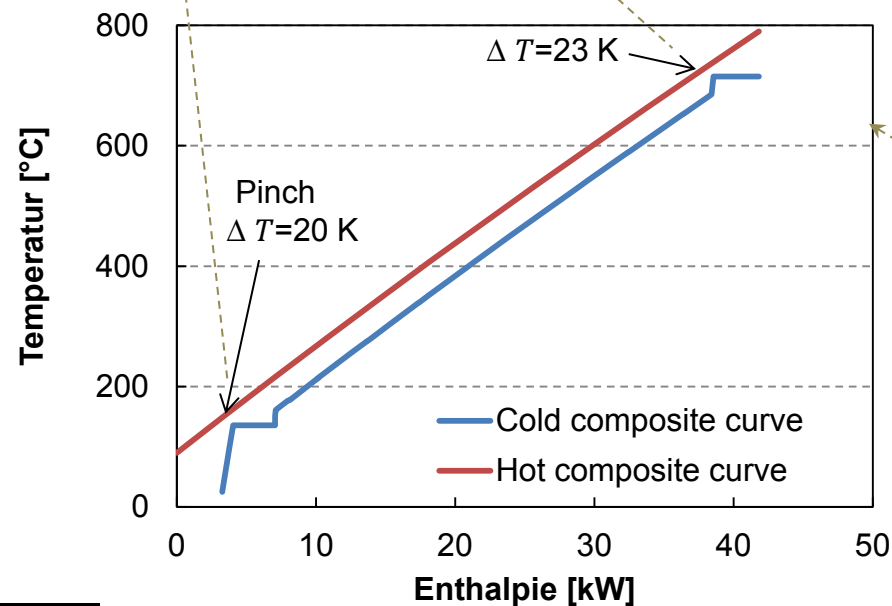


Wärmeintegration

Pinch-Analyse

• Optimale Bedingungen:

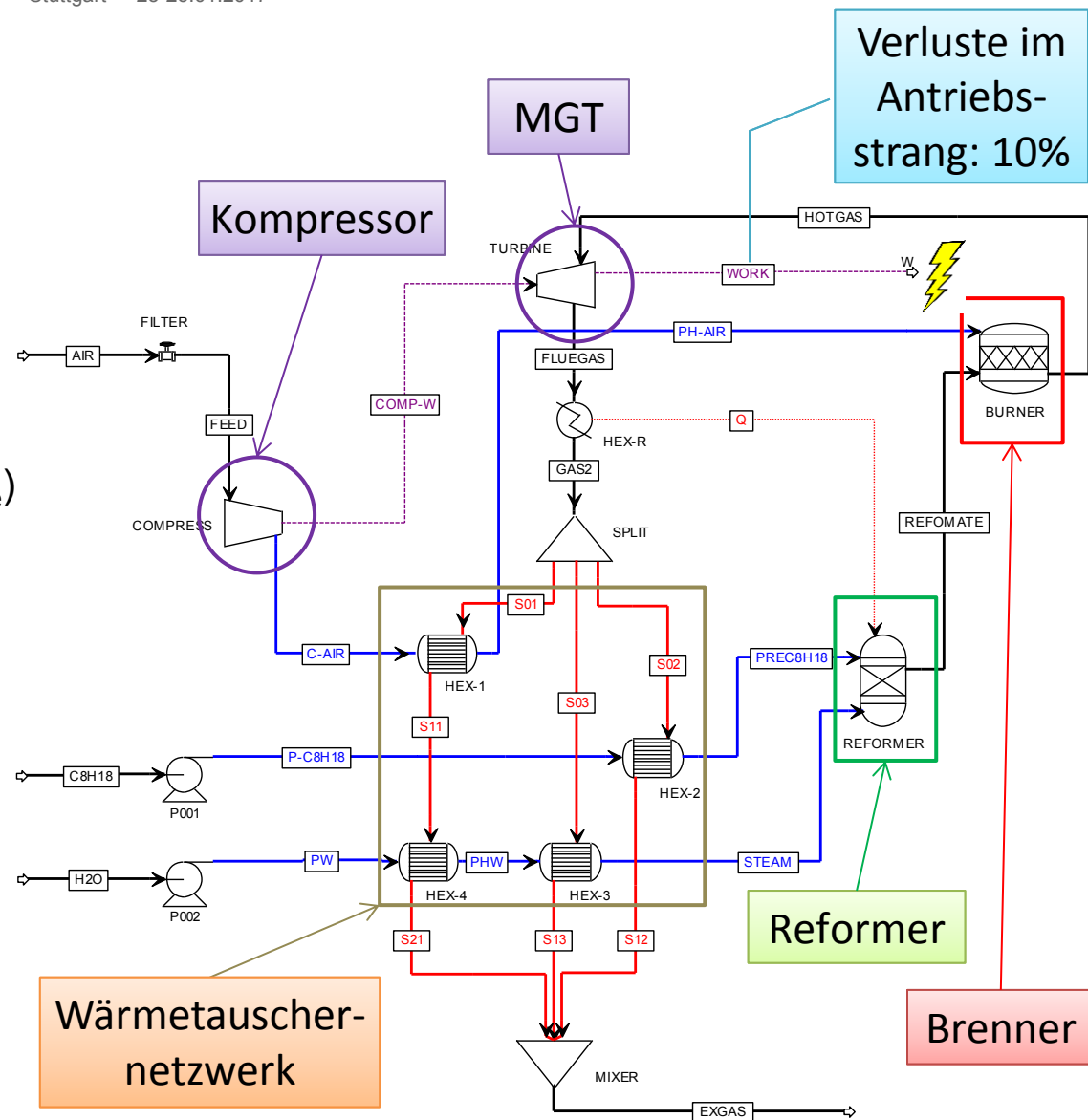
- $T_{\text{Refm}} = 715\text{ °C}$
- $p_{\text{Refm}} = 3,5\text{ bar}$
- $S/C = 3,1$



Realistischer Wirkungsgradgewinn

Verlustbehafteter Vergleich Base Case 1 und Neues System

- Realistisches Modell MGT (5 kW_e)
mit Druck- und Wärmeverlusten
 - + Luftvorwärmung
 - + thermo-chemischer Rekuperation
- Wirkungsgradsteigerung
 - ✓ 20,3 % → 26,0 %
 - ✓ Erhöhung: +5,7 %
- Kraftstoffverbrauch
 - ✓ 2,0 kg/h → 1,56 kg/h
 - ✓ Einsparung: -22 %

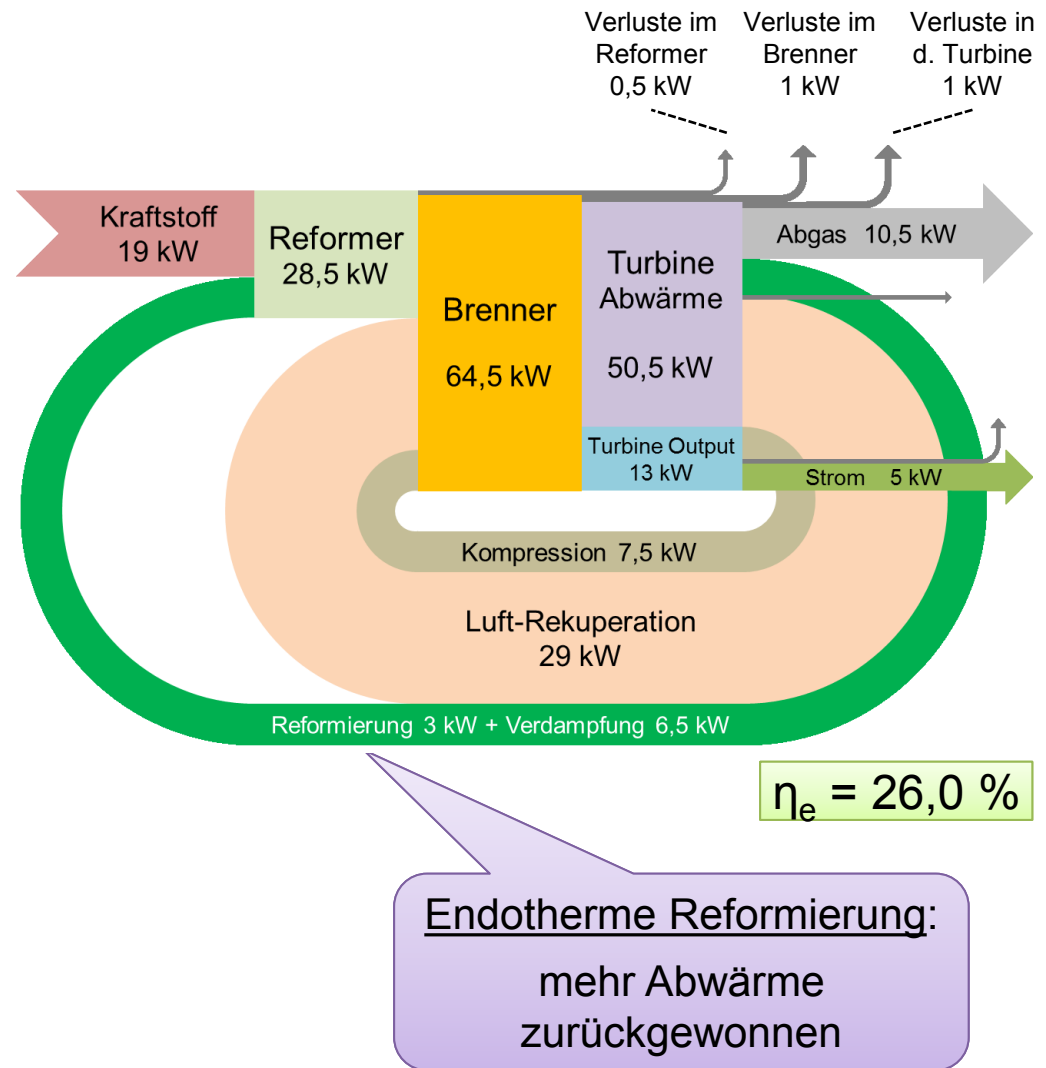


Realistisches Modell



Energieanalyse

Neues System:
thermo-chemische Rekuperation
 (Kraftstoff-Reformierung) →



Realistisches Modell



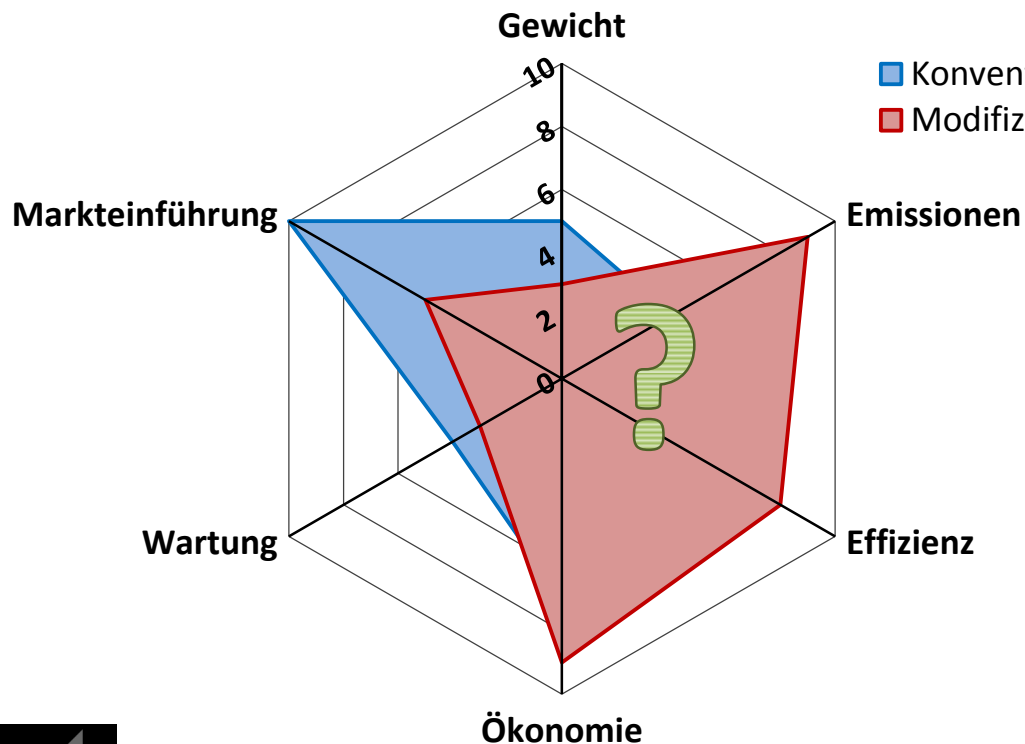
Zusammenfassung

- Konzept „Integration der endothermen Kraftstoff-Reformierung in einen Verbrennungsmotor“ erstellt
- Integrierter Prozess (MGT + Reformierung) ausgelegt und simuliert
- Wärmeintegration und Energieanalyse durchgeführt
- Ziel: Experimentelles Verbrennungssystem mit thermo-chemischen Rekuperation
 - ✓ **Erhöhung des el. Wirkungsgrades einer realistischen 5-kW-MGT** (20% → 26%)
 - ✓ **Verringerung des Kraftstoffverbrauchs** (-22%)
 - Übertragung auf Range Extender Konzepte in Hybrid-Fahrzeugen?
 - ✓ Reduzierung der Schadstoffemissionen (CO, NO_x, usw.)
 - experimenteller Nachweis?

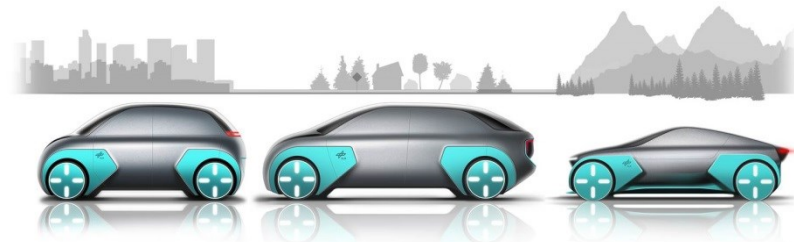


Ausblick

- Aufbau eines Laborteststandes
- Ankopplung an Motorprüfstand
- Detaillierte Modellierung und techno-ökonomische Bewertung



← Bewertung:
Potenzial der Range Extender
Technologien



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Danksagung:

Jiafei Zhang

TT-TPT-ABS

jiafei.zhang@dlr.de

Jan Zanger (VT)

Thomas Krummrein (VT)

Torsten Ascher (TT)

Friedemann Albrecht (TT)

Wissen für Morgen

Wärmeintegration

Wärmetauschernetzwerk

- Wärmeverbrauch:

Luftvorwärmung > Dampfüberhitzung > Reformierung > Kraftstoffvorwärmung

- Splitverhältnisse

- 0,927 (Luft)
- 0,050 (Dampf)
- 0,023 (Kraftstoff)

- Gestaltung

- Wärme
- Temp.
- Fläche
- USW.

